DURABILIDADE DE CONCRETO ARMADO SUJEITO AO AMBIENTE SUBMETIDO A NÉVOA SALINA, EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CURA

MILTON. COSTA JUNIOR
Professor
Universidade Federal do Espírito Santo/ Departamento de engenharia civil
Vitória/ES; Brasil
milton.paulino@gmail.com

RESUMO

Muitos fatores podem contribuir para a durabilidade do concreto, como a quantidade de cimento na mistura e a relação água/ cimento; porém, um fator importante nesse processo é a cura, devido a sua contribuição a permeabilidade do material. A cura é fundamental para obtenção de concretos mais resistentes à ação isolada ou simultânea dos agentes de deterioração. O objetivo desse trabalho é avaliar a durabilidade do concreto armado quanto à profundidade de penetração de íons cloretos e profundidade de carbonatação, ao longo de dois anos, submetido a ambiente natural e sob a ação de névoa salina artificial, comparando a cura úmida de sete dias com a cura ao ar. Os ensaios de profundidade de penetração de cloretos e profundidade de carbonatação foram realizados a cada seis meses até os dois anos de idade, utilizando-se corpos-de-prova em forma de viga de concreto armado, com cimento Portland de alto-forno. Inicialmente as amostras passaram por cura úmida de sete dias ou cura ao ar, após essa etapa elas ficaram em ambiente natural, submetidas à aspersão artificial de névoa salina, para simular um ambiente marinho, até as idades de ensaio. Observa-se nos resultados obtidos que a profundidade de carbonatação e de penetração de cloretos foram maiores com amostras submetidas à cura ao ar, porém, essas diferenças apenas são significativas após um ano de exposição. Com base nos resultados obtidos, observa-se que os cuidados iniciais com a cura úmida são fundamentais para a durabilidade do concreto armado.

Palavras-chave: Durabilidade, Cura, Íons Cloreto, Carbonatação.

ABSTRACT

Many factors may contribute to concrete's durability, such as the amount of cement in the mixture and the water/ cement ratio; however, an important factor in this process is the curing, due to its contribution to the permeability of the material. The curing is fundamental to obtain concretes that are more resistant to isolated or simultaneous action of deteriorating agents. The objective of this work is to evaluate the durability of the reinforced concrete in terms of chloride penetration depth and carbonation depth over two years, submitted to natural environment and under the action of artificial salt spray, comparing moist curing for 7 days and air-curing. The tests chloride penetration depth and carbonation depth were made every six months until the age of two years, using specimens in form of reinforced concrete beam, with Portland blast furnace cement. Initially the specimens were submitted to a moist curing for 7 days or air-curing, afterwards they were placed in a natural environment, submitted to artificial salt spray, to simulate a marine environment, until the test ages. It is observed in the results obtained that the carbonation depth and the chloride penetration depth were higher with samples submitted to air cure, however, these differences are only significant after one year of exposure. Based on the obtained results it is observed that the initial treatments with moist curing are the keys to the concrete durability

Keywords: Durability, curing, carbonation, chloride.

1. INTRODUÇÃO

A cura está diretamente relacionada com evaporação da água livre ou com a água em excesso e que não reagiu com o cimento. Com a evaporação evitada no período de cura, menor é o risco de retração por secagem e, conseqüentemente, o surgimento de microfissuras, as quais podem servir de entrada aos agentes agressivos. A intensidade de evaporação da água livre não depende apenas da cura, mas também da composição e temperatura do concreto, da área exposta da peça, de temperatura e umidade relativa do ar, insolação e velocidade do vento (ARNOLD, 2003; THOMAZ, 2005).

Durante o intervalo de sete dias ocorre de 50 a 70% da retração total do concreto. Para evitar esse problema, é importante respeitar os períodos de cura estipulados pela literatura para que essa etapa ocorra de uma forma eficaz. Vale ressaltar que esses valores podem ser corrigidos considerando as condições atmosféricas (temperatura, vento, umidade relativa do ar), a relação área exposta/ volume da peça concretada e as condições de agressividade ambiental. Na prática é comum observar a interrupção de períodos mínimos de cura. Essa ação tem várias consequências, dependendo do ambiente ao qual a estrutura está exposta. O problema pode ser agravado, como por exemplo, pela dilatação térmica devido às temperaturas elevadas, ocasionando fissuras no concreto (MINDESS, YOUNG, 1981; THOMAZ, 2005).

Os cimentos com adições minerais (escória de alto-forno, cinzas volantes, materiais pozolânicos, microssílica) necessitam de um prazo maior para cura. Esse período maior ocorre em função de vários fatores, como por exemplo, no caso do cimento com escória de alto-forno, que o processo de hidratação é mais lento que o cimento comum, para se evitar problemas como de retração e a necessidade de água para desenvolvimento de suas propriedades aglomerantes (FURNAS, 1997). De acordo com o ACI 308 (citado por MINDESS e YOUNG, 1981) o período de cura úmida para uma estrutura de concreto é de 7 dias ou o tempo necessário para se alcançar 70% da resistência a compressão axial ou de tração na flexão especificado; entretanto, para concreto contendo pozolanas esse período pode variar de 2 a 3 semanas, devido ao desenvolvimento mais lento da resistência, de um baixo calor de hidratação e da reação do cimento com a pozolana.

Muitos são os estudos com diferentes tipos de cura e sua relação com propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade. Entre as pesquisas realizadas pode-se citar a de Couto (2003) que investigou as características do concreto de cobrimento submetido a diversas condições de cura e verificou que concretos submetidos à cura úmida por 28 dias tiveram melhores resultados em relação à cura química e por molhamento a 3 e 7 dias, os piores resultados foi quando submetido a cura ao ar. Esse fato ocorreu devido à possibilidade de preenchimento dos espaços ocupados pela água no concreto fresco por produtos de hidratação do cimento, evitando a retração ou micro fissuração e deixando-o menos permeável. Nesse sentido observa-se a importância do período de cura na durabilidade do concreto, como analisado por Ferreira (2003), que observou uma melhora nos coeficiente de difusão de cloretos com o decorrer do tempo, ou seja, quanto maior a idade de cura mais resistente é o concreto a difusão de íons cloreto.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização dos materiais

O cimento Portland utilizado nesse trabalho experimental foi o CP III 40-RS (cimento Portland de Alto-Forno), cujo teor de escória granulada de alto-forno no cimento pode chegar a 70%. Foram utilizados os seguintes materiais para composição da mistura: areia (média) de rio, disponível e utilizada na região de Campinas – SP, pedra britada número 1 (basalto) com dimensão máxima característica de 19mm e aditivo plastificante multidosagem redutor de água.

2.2 Misturas experimentais

As misturas experimentais escolhidas em função da dosagem do concreto utilizado nesta pesquisa, cuja proporção adotada aglomerante:agregados foi de 1:5 em massa. Neste sentido, atendendo a esse requisito, o traço adotado foi de 1:2:3 (cimento:areia:brita) (em massa), com a relação água/cimento de 0,42.

A escolha da proporção (cimento: areia: brita) 1:2:3 ocorreu por apresentar bom teor de argamassa. A relação água/cimento utilizada neste estudo foi adotada com o objetivo de se obter concretos mais resistentes quando expostos em meios agressivos, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

O índice de consistência, encontrado por meio de um tronco de cone (conforme a NBR 7223:1992), foi de 400 ± 10mm. O consumo de materiais empregados para a moldagem dos corpos-de-prova e vigas pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação dos materiais utilizados no trabalho experimental

Traço	Cimento (Kg)	Aditivo plastificante (%)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Água (Kg)	Consumo de cimento (Kg/m^3)
1 : 2 : 3 : 0,42	50	0,6	100	150	21	396,83

Fonte: Autor.

2.3 Moldagem, cura e ensaios dos corpos-de-prova prismáticos

Foram moldadas as séries de corpos-de-prova em forma de viga conforme apresentado na Tabela 2. As amostras foram moldadas em função da data de ensaios de durabilidade realizados e do tipo de cura, ou seja, foram produzidos corpos-de-prova em forma de viga realizando-se cura úmida e cura ao ar para realização de ensaios de cloretos e carbonatação de seis em seis meses até a idade de dois anos.

Tabela 2 – Série de Concretos produzidos.

Amostras	Tipo de cura	Data de ensaios
M6ar	Ao ar	06 meses
M6um	Úmida	06 meses
M12ar	Ao ar	12 meses
M12um	Úmida	12 meses
M18ar	Ao ar	18 meses
M18um	Úmida	18 meses
M24ar	Ao ar	24 meses
M24um	Úmida	24 meses

Fonte: Autor.

A mistura foi efetuada de forma mecânica, em betoneira de eixo inclinado. Para cada série de moldagem ou cada amostra apresentada na Tabela 2, foram moldados 6 corpos-de-prova em forma de viga de concreto armado nas dimensões 1,39x0,1x0,1m. Foi utilizada uma barra de aço CA50 com diâmetro nominal de 10mm (Ø 10), com cobrimento nominal de 30mm.

Após a moldagem os corpos-de-prova em forma de viga eram cobertos com lona plástica até o momento da desforma, que ocorria após 48 horas do momento da moldagem.

Em relação aos tipos de cura adotado nesse trabalho tem-se:

- Cura úmida - Após a desmoldagem os corpos-de-prova em forma de viga foram imersos em água potável, saturada de hidróxido de cálcio até a idade de 7 dias. Após esse período os corpos-de-prova em forma de viga foram colocados em ambiente externo até a data de ensaio.

- Cura ao ar - Após a deforma os corpos-de-prova em forma de viga eram colocados expostos ao ambiente até a data de ensaio. Na cura ambiente ou ao ar não são tomados cuidados especiais para se evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento. Podem-se visualizar as amostras em ambiente natural até as respectivas datas de ensaio na Figura 1.

Figura 1 –Corpos-de-prova em forma de viga expostos ao meio ambiente e névoa salina.



Fonte: Autor.

Os corpos-de-prova em forma de viga foram expostos ao meio ambiente. Nesta etapa era aspergida uma solução simulando uma névoa salina ou ambiente salino ou de cloreto. A concentração de sal na água de mar é de 35 g/l de NaCl, nesse sentido foi utilizada essa concentração para a névoa salina, a qual era aspergida com borrifador 3 vezes por semana, três vezes ao dia. Essa aspersão simulando uma névoa salina ocorreu até as datas de ensaios.

A verificação da profundidade de carbonatação e profundidade de penetração de cloretos foram realizadas em seções transversais rompidas nos corpos-de-prova em forma de viga, nas idades de 6, 12, 18 e 24 meses. A secção transversal foi realizada em pelo menos três pontos das amostras, nos seus terços médios.

Para determinar a profundidade de carbonatação foi aspergida uma solução de fenolftaleína (Figura 2), preparada com a dissolução de 1g do reagente em 100 ml de etanol, conforme recomendado por KASMIERCZAK e LINDENMEYER (1996).

Figura 2 – Etapas do ensaio: a) aspersão do corpo-de-prova com solução de fenolftaleína; b) corpo-de-prova pronto para a leitura de profundidade de carbonatação; c) realização da leitura de profundidade de carbonatação com paquímetro.

a)



b)



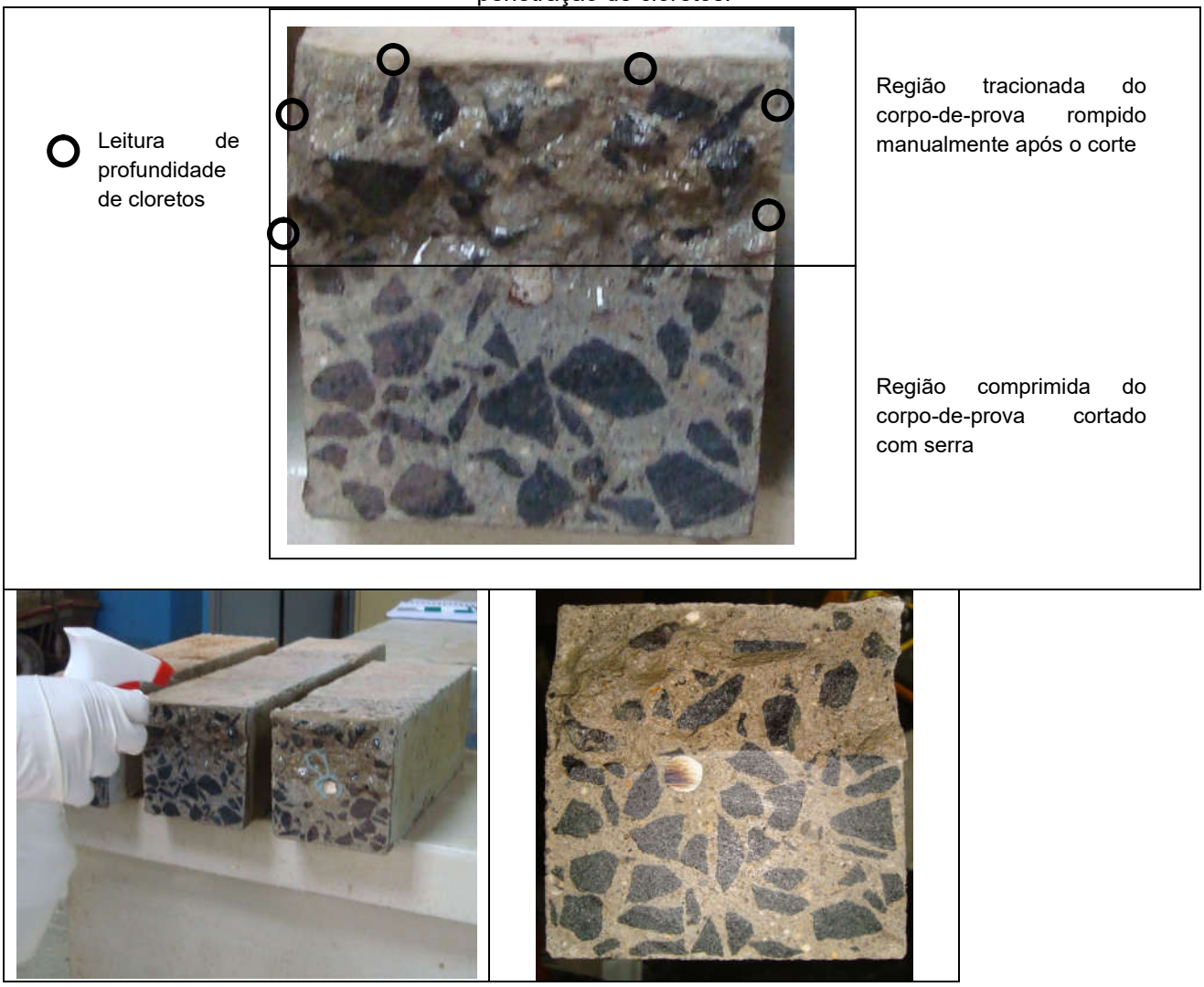
c)



Fonte: Autor.

Em relação à profundidade de penetração de cloretos, o processo é similar ao da profundidade de carbonatação, ou seja, rompe-se a seção transversal das vigas, porém, nesse caso, a avaliação é realizada pela aspersão de nitrato de prata (solução 0,1N) na superfície do concreto (Figura 3), ocorrendo uma reação fotoquímica. O que ocorre nesse caso é que a presença de cloretos livres é detectada através de um precipitado branco denominado cloreto de prata, enquanto que os cloretos que estão na forma combinada têm-se a formação de um precipitado marrom, o óxido de prata.

Figura 3 - Corpo-de-prova com solução de nitrato de prata, pronto para a leitura de profundidade de penetração de cloretos.



Fonte: Autor.

Para determinar diferenças estatisticamente significantes (o nível de significância adotado será de 5%) entre as médias dos resultados são utilizados testes de hipóteses paramétricas de ANOVA e DUCAN (MONTGOMERY, 1991).

3. RESULTADOS

A média dos resultados de profundidade de carbonatação dos corpos-de-prova em forma de viga, referentes à amostra M6ar a M24um é apresentada na Tabela 3.

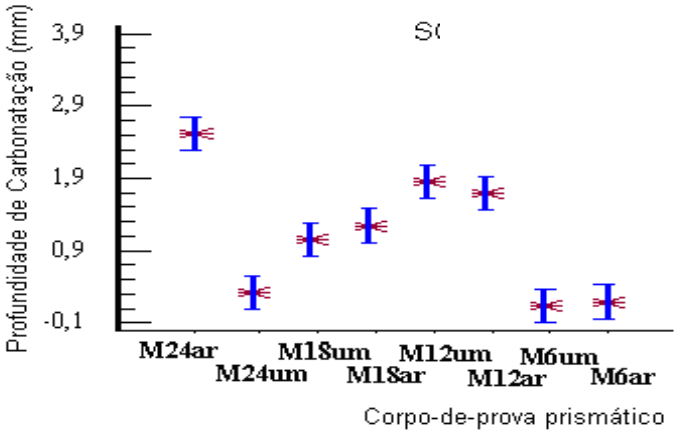
Tabela 3 – Media dos resultados de profundidade de carbonatação da amostra M6ar a M24um.

Amostra (MS)	Media	Variância	Desvio padrão
M6ar	0,191667	0,0764493	0,276495
M6um	0,135833	0,0115384	0,107417
M12ar	1,7025	0,686376	0,828478
M12um	1,84833	0,352067	0,593352
M18ar	1,24583	0,718243	0,847492
M18um	1,04583	0,836504	0,914606
M24ar	2,51667	0,957101	0,978316
M24um	0,308333	0,244275	0,494242

Fonte: Autor.

Na Figura 4 pode-se observar as médias dos resultados de profundidade de carbonatação dos corpos-de-prova em forma de viga da amostra M6ar a M24um.

Figura 4 – Média dos resultados de profundidade de carbonatação dos corpos-de-prova em forma da amostra M6ar a M24um.



Fonte: Autor.

Antes de se analisar o resultado obtido nos corpos-de-prova em forma de viga, é importante situa-los no ambiente natural ao qual estavam expostos e verificar como as características desse ambiente podem influenciar na profundidade de carbonatação, além das variáveis de cura e tempo de exposição, utilizados nesta pesquisa.

Durante todo o período em que as amostras estiveram submetidas a ambiente natural, foi monitorada as variações de clima. A umidade relativa (UR) no nos dois anos de exposição ficou na faixa de 70%, ou seja, ambiente que está entre os limites de 60 a 80% onde ocorre o maior grau de carbonatação e despassivação deletéria de maneira significativa (SALES e GOMES, 2004). Porém esse não é o único fator ambiental que proporciona um meio propício a acorrer a carbonatação, tem-se também a temperatura e precipitação, que foram medidos nos dois anos em que as amostras ficaram expostas e que teve suas variações em função do período do ano, com maior intensidade de chuvas entre o mês de novembro e março e períodos mais secos entre o mês de abril e outubro. A temperatura variou entre 17ºC e 26ºC que pode ser considerada alta e a precipitação variou em função da época do ano, enfim, do ponto de vista de meio ambiente verifica-se que esses fatores contribuíram para ocorrer a carbonatação.

Na Tabela 4 são apresentadas as comparações entre as amostras M6ar a M24um com cura úmida e cura ao ar, nas diferentes idades de ensaio.

Tabela 4: Comparações entre as amostras M6ar a M24um com cura úmida e cura ao ar, nas diferentes idades de ensaio.

Contraste	Diferença	+/- Limites
M24ar - M24um	*2,20833	0,462084
M18ar - M18um	-0,2	0,462084
M12ar - M12um	0,145833	0,462084
M24ar - M24um	-0,0558333	0,462084

* Denota uma diferença estatisticamente significativa.

Fonte: Autor.

Houve apenas diferenças estatisticamente significativas nos resultados de profundidade de carbonatação aos 24 meses de idade, no restante das idades ensaiadas a cura não influenciou na diferença de resultados das amostras.

Observa-se através dos resultados obtidos que a cura aos sete dias não influenciou na profundidade de carbonatação nas primeiras idades de ensaio (até aos 18 meses), porém, outros fatores também podem ter influenciado nesse resultado, como os aspectos ambientais aos quais as amostras estavam submetidas, cobrimento do concreto, etc. Deve-se considerar, neste caso, o avanço lento da profundidade de carbonatação, como observado por Bourguignon (2004).

O processo de transporte de agentes agressivos depende em grande parte da conectividade entre os poros e de seu tamanho. Com a hidratação da pasta de cimento a conectividade e tamanho dos poros tendem a diminuir. Alguns fatores como relação água/cimento são fundamentais para que se tenha uma segmentação dos poros com hidratação do cimento. Como nesta pesquisa a relação água/cimento é baixa, a desconexão dos poros pode ser alcançada com uma cura adequada (IRASSAR, 2004). Nesse sentido vê-se a importância da cura para se atingir melhores resultados de durabilidade em idades mais avançadas.

A média das profundidades de penetração de cloretos dos corpos-de-prova em forma de vigas (amostra M6ar a M24um) é apresentada na Tabela 5.

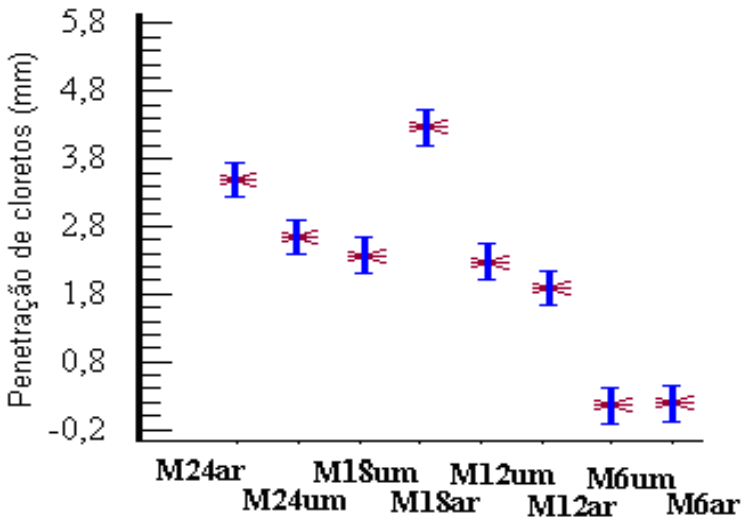
Tabela 5 – Media dos resultados de profundidade penetração de cloretos da amostra M6ar a M24um, sem carregamento.

Amostra (MP)	Media	Variância	Desvio padrão
M6ar	0,181667	0,030458	0,174522
M6um	0,147917	0,0352346	0,187709
M12ar	1,89417	0,616434	0,785133
M12um	2,2775	0,424567	0,651588
M18ar	4,26667	0,91971	0,959015
M18um	2,37167	1,88188	1,37181
M24ar	3,48333	0,993623	0,996806
M24um	2,6375	0,528533	0,727002

Fonte: Autor.

Na Figura 5 pode-se observar as médias dos resultados de profundidade de penetração de cloretos dos corpos-de-prova em forma de viga da amostra M6ar a M24um.

Figura 5 – Média dos resultados de profundidade de penetração de cloretos dos corpos-de-prova em forma da amostra M6ar a M24um.



Fonte: Autor.

O ambiente aos quais os corpos-de-prova em forma de viga estavam expostos foi propício para a profundidade de penetração de cloretos, uma vez que nas amostras foi aspergida solução de cloreto de sódio. A umidade, temperatura medida até a idade de ensaio também contribuiu para um ambiente suscetível à profundidade de penetração de cloretos, tentando-se chegar o mais próximo possível de uma atmosfera marinha.

Observaram-se maiores resultados de profundidade de penetração de cloretos aos 24 meses e maior dispersão dos resultados para os corpos-de-prova em forma de viga submetida à cura úmida, ensaiados aos 18 meses de idade.

Na Tabela 6 são apresentadas as comparações estatísticas entre as amostras M6ar a M24um com cura normal e cura ao ar, nas diferentes idades de ensaio, para os resultados de profundidade de penetração de cloretos.

Tabela 6: Comparações entre as amostras M6ar a M24um com cura normal e cura ao ar, nas diferentes idades de ensaio, para os resultados de profundidade de penetração de cloretos.

Contraste	Diferença	+/- Limites
M24ar - M24um	*0,845833	0,518652
M18ar - M18um	*-1,895	0,518652
M12ar - M12um	0,383333	0,518652
M6ar - M6um	-0,03375	0,518652

* Denota uma diferença estatisticamente significativa.

Fonte: Autor.

No primeiro ano de idade a cura não influenciou em diferenças de profundidade de cloretos e aos 18 e 24 meses houve diferenças significativas de resultados em relação a condição de cura, sendo a maior a profundidade de penetração de cloretos em amostras sob cura ao ar.

4. CONCLUSÕES

Em termos gerais verificou-se através dessa pesquisa que são válidos os estudos com ambientes mais próximos da realidade de obras, em especial as obras brasileiras, que dependendo da região não se tem grandes variações de temperatura e umidade relativa e o período de chuva ocorrem geralmente no verão, ou seja, do mês de novembro a março. Dentre a realidade das obras brasileiras tem-se o período gasto para realização da cura do concreto, que gira em torno de 7 dias, cujo tempo pode variar em função de vários fatores como a necessidade de agilidade no cronograma da obra.

Com base nesse universo de períodos mais curtos de cura úmida e muitas vezes realizando a própria cura ao ar, sem preocupações futuras da ausência dessa atividade, observou-se nessa pesquisa diferenças de profundidade de carbonatação entre amostras submetidas a cura úmida e cura ao ar somente após 18 meses de idade. Nesse sentido vê-se que a cura aos sete dias não influenciou nos resultados até os 18 meses de idade. Como citado anteriormente, outros fatores devem ser levados em consideração nesse contexto, como a relação água/cimento utilizada, que nesse caso foi baixa.

Quanto à profundidade de penetração de cloretos, vê-se que a simulação de névoa salina pode ter contribuído para obtenção de diferenças significativas de resultados após 12 meses de idade, pois aos 18 meses já se verificou diferenças de resultados nas amostras submetidas à cura úmida.

Corroborando a revisão da literatura verifica-se a importância da cura úmida por períodos mínimo para se ter maior garantia de durabilidade do concreto, em especial, quando se tratam de misturas utilizando adições minerais no cimento, como foi o caso desse trabalho que utilizou cimento de alto-forno. Claro que a durabilidade do concreto depende também de vários outros fatores, porém, o período de realização da cura e tipo adotado é tão importante e não pode ser negligenciado.

6. REFERÊNCIAS

ARNOLD, R. **Working with concrete**. The Taunton Press. Ed. David Schiff/ Nailhaus Publication, Inc. USA, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BALAYSSAC, J. P.; DÉTRICHÉ, Ch. H.; GRANDET, J. **Effects of curing upon carbonation of concrete**. Construction and Building Materials, Vol. 9, nº. 2, p. 91-95, 1995.

BOURGUIGNON, Kátia. **Influência da resistência na profundidade de carbonatação de concretos com diferentes teores de escória de alto-forno**. Dissertação (Mestrado). PPGEC da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória-ES, 2004.

COUTO, A. B. P. **Influência das condições de cura nas características do cobrimento de diferentes concretos**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Goiás – UFG, 2003.

FERREIRA JUNIOR, E.L. **Avaliação de propriedades de concreto de cimento Portland de alto-forno e cimentos Portland de alta resistência inicial submetidos a deferentes condições de cura**. Unicamp Dissertação (mestrado). 2003.

FURNAS, Equipe de Laboratório de Concreto, Deptº de Apoio e Controle Técnico. **Concreto massa estrutural projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades**. São Paulo: Pini, 1997.

IRASSAR, E. **Hormigón: Naturaleza y Propiedades**. Hormigones Especiales – XV Reunión Técnica Ing. Marcelo Wainsztein, Asociación Argentina de Tecnología del hormigón. Santa Fe, 21 al 24 de octubre de 2004.

KAZMIECZAK, Cláudio de S., LINDENMEYER, Zara 1996. **Comparação entre metodologias utilizadas para a determinação da profundidade de carbonatação em argamassas**. In: International Congress on High-Performance Concrete, and Performance and quality of concrete structures. Proceedings. Florianópolis, 1996.

MINDESS, S.; YOUNG, J. F. **Concrete**. Prentice-Hall, INC. Englewood Cliffs, New Jersey – USA, 1981.
SALES, A.; GOMES, N. A. **Avaliação da profundidade de carbonatação em construções de concreto interrompidas à luz das recomendações da NBR 6118-2003**. In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto - 46 º IBRACON, 2004, Florianópolis.

THOMAZ, E. **Execução, controle e desempenho das estruturas de concreto**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G.C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005. Volume 1.